

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour
le classement et les
commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national :
(A utiliser pour les paiements d'annuités,
les demandes de copies officielles et toutes
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(15) BREVET D'INVENTION

PREMIÈRE ET UNIQUE
PUBLICATION

(22) Date de dépôt..... 2 février 1971, à 17 h.
Date de la décision de délivrance..... 22 novembre 1971.
Publication de la délivrance..... B.O.P.I. — «Listes» n. 50 du 17-12-1971.

(51) Classification internationale (Int. Cl.).. H 05 h 9/00.

(71) Déposant : BOMKO Vasily Alexeevich, REVUTSKY Evgeny Ivanovich, RUDYAK Boris
Ivanovich et PIPA Anatoly Vasilievich, résidant en U.R.S.S.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Plasseraud, Devant, Gutmann, Jacquelin, Lemoine.

(54) Procédé d'accélération des ions dans les accélérateurs linéaires et accélérateur linéaire pour
réaliser ce procédé.

(72) · Invention de :

(33) (32) (31) Priorité conventionnelle : *Demande de brevet déposée en U.R.S.S. le 18 mars 1970,
n. 1.415.379 aux noms de Vasily Alexeevich Bomko et Boris Ivanovich Rudyak.*

La présente invention concerne les matériels accélérateurs, et notamment les procédés d'accélération des ions dans les accélérateurs linéaires et les accélérateurs linéaires pour réaliser ces procédés.

5 On connaît un procédé d'accélération des ions dans les accélérateurs linéaires se présentant sous la forme de cavités résonnantes cylindriques avec des tubes de glissement. Ce procédé est fondé sur l'excitation d'une onde électromagnétique stationnaire à haute fréquence du mode E_{010} , en présence de laquelle
10 on obtient une distribution uniforme de l'intensité du champ électrique le long de l'axe de la cavité résonnante. Dans ce cas, la condition de synchronisme ne permet d'obtenir l'accélération qu'avec une seule valeur de l'intensité du champ accélérateur.

15 L'inconvénient d'un tel procédé consiste en ce que l'on ne peut obtenir à la sortie de l'accélérateur qu'un faisceau de particules accélérées ayant une énergie d'une seule valeur, celle pour laquelle a été calculé l'accélérateur. Or, la majorité des programmes de recherches scientifiques et appliquées pourraient
20 être notablement élargis si l'on avait la possibilité de régler l'énergie des particules accélérées dans une plage étendue.

Certaines valeurs intermédiaires de l'énergie ont été obtenues dans les accélérateurs linéaires d'ions lourds (à Berkeley aux U.S.A. et à Manchester en Angleterre) par modification de la
25 pente du champ accélérateur de l'onde stationnaire mode E_{010} .

L'inconvénient de ce procédé d'accélération consiste en l'absence de possibilité de régler continûment l'énergie des particules accélérées, en ce que le faisceau perd plus de la moitié de son intensité, en ce que la dispersion en énergie est
30 augmentée, et en ce que la stabilité de fonctionnement de l'accélérateur est altérée.

Un autre procédé d'obtention de particules chargées d'énergies intermédiaires est fondé sur l'utilisation d'une série de cavités résonnantes unitaires, non couplées entre elles en alim-
35 mentation haute fréquence. L'interruption de l'amenée de la puissance à haute fréquence à un nombre déterminé de cavités résonnantes se trouvant en dernière position permet d'obtenir des faisceaux ayant l'énergie acquise dans les cavités résonnantes exci-
tées.

40 Les inconvénients de ce procédé sont les difficultés rencon-

trées dans l'alimentation en phase des cavités résonnantes séparées non couplées de la série par la puissance à haute fréquence, la complexité de conception des accélérateurs et l'apparition de pertes supplémentaires importantes de puissance à haute fréquence sur le grand nombre de parois frontales des cavités résonnantes de la série.

Les deux procédés indiqués ne résolvent pas le problème du réglage continu de l'énergie des particules accélérées.

Le but de la présente invention est de supprimer les inconvénients susmentionnés.

Il s'agit de créer un procédé d'accélération des ions dans les accélérateurs linéaires, qui assurerait un réglage continu de l'énergie des particules accélérées, sans altération de la qualité du faisceau, grâce à la modification du mode de l'onde accélératrice, et de concevoir un accélérateur linéaire pour réaliser le plus simplement et le plus avantageusement ce procédé.

La solution consiste en ce que, dans le procédé proposé, l'accélération des ions est réalisée par une onde électromagnétique à haute fréquence de mode E_{011} permettant de régler de manière continue l'énergie des particules accélérées par formation d'une portion à distribution uniforme du champ accélérateur et par réglage de la longueur de cette portion. L'accélérateur linéaire pour la réalisation de ce procédé se présente sous la forme d'une cavité résonnante avec des tubes de glissement et avec des dispositifs de réglage tridimensionnels situés sur la paroi latérale de la cavité résonnante, et est doté d'un dispositif de réglage auxiliaire réalisé sous la forme d'une tige conductrice montée sur la paroi frontale de la cavité résonnante auprès de sa paroi latérale, parallèlement à l'axe de la cavité résonnante, avec possibilité de déplacement le long de l'axe de cette cavité résonnante.

Le procédé d'accélération des ions, de principe nouveau, permet de régler continûment l'énergie des particules accélérées dans une plage étendue (0,5 à 1 de l'énergie maximale de l'accélérateur), sans perte d'intensité du faisceau accéléré. Ce procédé d'accélération, ainsi que le dispositif de réglage auxiliaire, réalisé sous la forme d'une tige conductrice montée sur la paroi frontale de la cavité résonnante, auprès de sa paroi latérale, parallèlement à l'axe de la cavité résonnante avec possibi-

bilité de déplacement le long de l'axe de la cavité résonnante, utilisé dans l'accélérateur linéaire réalisant ce procédé, assurent une haute monochromaticité du faisceau de particules accélérées et la stabilité de ses caractéristiques dans le temps, sans impliquer des prescriptions rigoureuses quant à la précision de fabrication des éléments de la structure accélératrice.

Un fait important consiste en ce que la modification de l'accélérateur linéaire pour l'adapter au régime de fonctionnement avec réglage de l'énergie est facile ; elle n'exige que des modifications insignifiantes de la construction de l'accélérateur.

Le dispositif de réglage auxiliaire proposé pour le réglage de l'énergie du faisceau est de conception très simple. Le principe exploité dans le procédé de réglage de l'énergie et la réalisation constructive de l'élément de réglage permettent d'automatiser le processus de réglage suivant un programme préétabli.

Un avantage du procédé d'accélération proposé réside dans la possibilité de le réaliser sur les accélérateurs linéaires existants sans modifications constructives importantes, et, par conséquent, sans investissements supplémentaires.

Dans ce qui suit, l'invention est expliquée par des exemples de réalisation avec renvois aux dessins annexés qui représentent :

la fig. 1, le graphique de la distribution, suivant la longueur de la cavité résonnante, du champ accélérateur engendré par l'onde E_{011} ;

la fig. 2, la construction de l'accélérateur linéaire faisant l'objet de l'invention ;

la fig. 3, le graphique de la fréquence de l'onde E_{011} et des fréquences des modes d'ondes voisins en fonction de la longueur de tige se trouvant dans la cavité résonnante ;

la fig. 4, les spectres de certaines énergies intermédiaires obtenues expérimentalement sur un accélérateur linéaire conçu pour une énergie maximale des protons de 9 MeV .

Le procédé d'accélération des ions proposé consiste en ce que l'accélération est obtenue au moyen d'une onde électromagnétique à haute fréquence de mode E_{011} , par formation d'une portion à distribution uniforme du champ accélérateur et par réglage de la longueur de cette portion. D'ordinaire, dans le cas d'excitation d'une onde E_{011} dans la cavité résonnante d'un accélérateur linéaire à tubes de glissement, dont toutes les cellules

sont accordées sur une même fréquence de résonance, on obtient un champ électrique à haute fréquence variant le long de l'axe suivant une loi sinusoïdale (fig. 1, courbe a) .

La formation d'une portion à distribution uniforme du champ accélérateur et le réglage de la longueur de cette portion s'effectuent dans l'accélérateur linéaire de la fig. 2, constitué par une cavité résonnante cylindrique 1 avec des tubes de glissement 2, au moyen de dispositifs de réglage tridimensionnels 3 montés dans la paroi latérale de la cavité résonnante, et d'un dispositif de réglage auxiliaire constitué par une tige conductrice 4 placée sur la paroi frontale de la cavité résonnante, auprès de sa paroi latérale, avec possibilité de déplacement le long de l'axe de la cavité résonnante. En modifiant la longueur de la partie de la tige 4 se trouvant dans la cavité résonnante, on déplace le noeud du champ électrique le long de l'axe de la cavité résonnante, ce qui provoque un affaiblissement du champ dans la demi-branche de droite (fig. 1, courbe b), et, en choisissant la profondeur d'engagement des dispositifs de réglage tridimensionnels 3 dans la cavité résonnante, on forme une portion à distribution uniforme du champ électrique avec une décroissance brusque.

Dans le cas de changement de la longueur de la portion à distribution uniforme du champ accélérateur avec décroissance parfaitement abrupte, le réglage de l'énergie des particules accélérées se fera par bonds, en correspondance avec l'accroissement d'énergie en une période de l'accélération. Pratiquement la décroissance a une certaine pente. C'est pourquoi en modifiant la pente, on obtient un réglage continu de l'énergie dans l'étendue correspondant à l'accroissement d'énergie en une période de l'accélération.

A la limite, en choisissant la longueur de la portion de la tige 4 se trouvant dans la cavité résonnante et la profondeur d'engagement des dispositifs de réglage tridimensionnels 3, il n'est pas difficile d'obtenir une distribution uniforme de l'intensité du champ accélérateur le long de toute la cavité résonnante 1, grâce à la déformation indiquée du champ de l'onde E_{011} .

Il s'avère possible de former dans certaines limites des portions à distribution uniforme du champ accélérateur engendré par une onde E_{011} dans la cavité résonnante 1, à l'aide des dis-

positifs de réglage tridimensionnels 3 seulement. Toutefois, dans ce cas, le processus de formation se heurte à des difficultés, car il exige une augmentation importante des dimensions des dispositifs de réglage. En outre, il reste la demi-branche de droite du champ (fig. 1, courbe c), qui provoque un accroissement de la dispersion énergétique du faisceau de particules accélérées.

Au cours de l'utilisation de l'accélérateur, le changement continu de l'énergie des ions accélérés s'effectue par déplacement de la tige 1 et des dispositifs de réglage tridimensionnels 3, suivant un programme préétabli dans lequel on a gradué la longueur de tige 4 se trouvant dans la cavité résonnante et la profondeur d'engagement des dispositifs de réglage tridimensionnels 3 suivant la valeur requise de l'énergie des particules accélérées. Un tel réglage peut être exécuté automatiquement. Le changement de la longueur de tige 4 se trouvant dans la cavité résonnante 1 et de la profondeur d'engagement des dispositifs de réglage tridimensionnels 3 s'effectuent de l'extérieur, sans casser le vide.

La stabilité des caractéristiques du faisceau accéléré en cas de changement de l'énergie des particules accélérées est obtenue grâce à l'augmentation de la différence entre la fréquence propre f_{011} de la cavité résonnante correspondant à l'onde H_{011} et les fréquences f_{010} , f_{012} (fig. 3) des modes d'ondes voisins lors de l'augmentation de la longueur l de tige 4 se trouvant dans la cavité résonnante 1 (fig. 2). Il en résulte un accroissement correspondant de la stabilité du champ accélérateur.

A titre d'exemple de réalisation du procédé décrit, on peut citer les résultats obtenus sur un accélérateur linéaire de protons dont l'énergie maximale calculée est de 9 MeV. Cet accélérateur fonctionne suivant un programme expérimental au régime de réglage continu de l'énergie des particules accélérées. Le changement de l'énergie s'effectue par commande à distance. Certaines valeurs des spectres des faisceaux accélérés au régime de réglage continu sont données en fig. 4. En abscisses on a porté les valeurs de l'énergie des particules accélérées, et en ordonnées on a porté les valeurs relatives de l'intensité des faisceaux à la sortie de l'accélérateur.

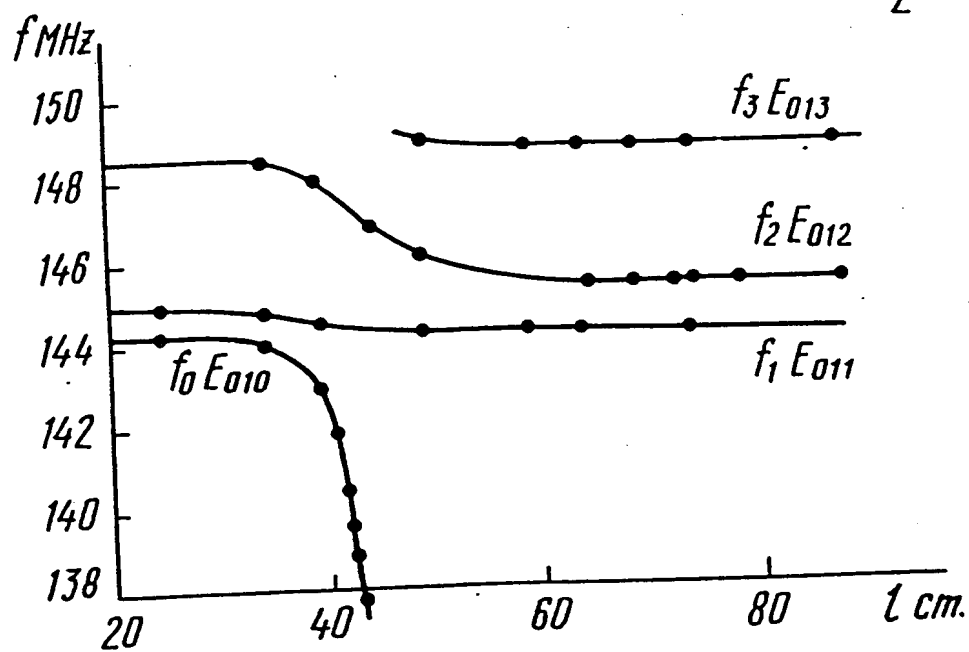
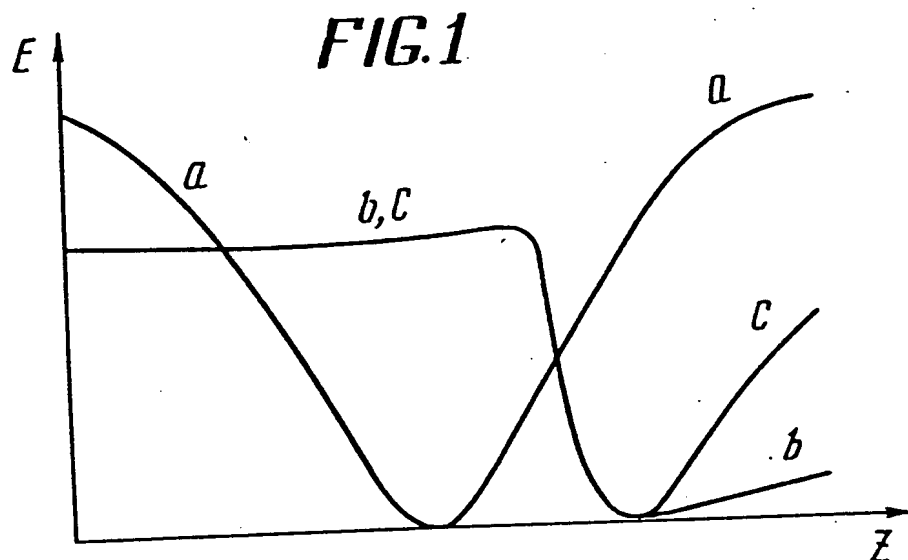
La diminution de l'intensité observée sur les spectres de la fig. 4 pour les énergies réduites n'est pas une conséquence inhérente au procédé d'accélération ; elle résulte du type de

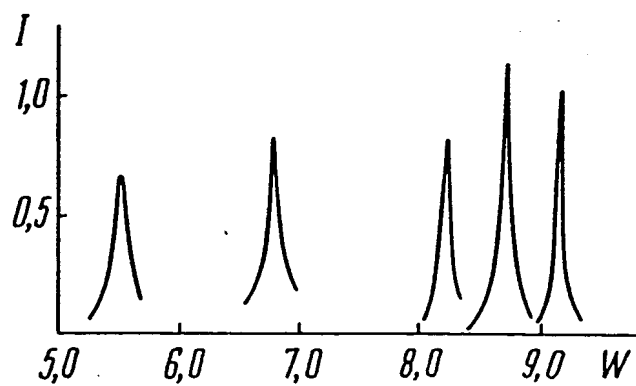
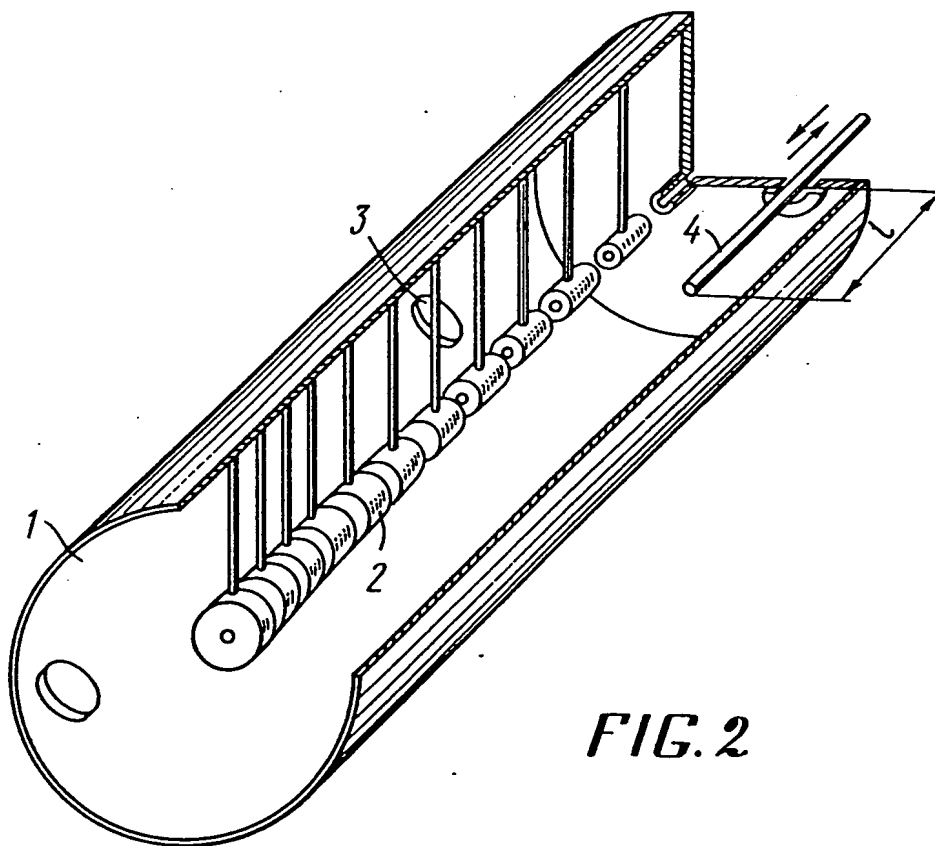
concentration du faisceau pendant l'accélération. En l'occurrence on a utilisé une concentration par grilles, aussi le faisceau n'est-il pas concentré dans la portion de longueur de l'accélérateur où le champ accélérateur est absent, et il y avait également d'autres pertes de particules accélérées. Les pertes d'intensité sont nulles en cas de concentration du faisceau par lentilles quadripolaires montées dans les tubes de dérive.

Comme il va de soi et comme il résulte d'ailleurs déjà de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à celui de ses modes d'application, non plus qu'à ceux des modes de réalisation de ses diverses parties, ayant été plus spécialement indiqués ; elle en embrasse, au contraire, toutes les variantes .

REVENDECATIONS

1. Procédé d'accélération des ions dans les accélérateurs linéaires du type à cavité résonnante avec tubes de glissement, par excitation d'une onde électromagnétique stationnaire à haute fréquence, caractérisé en ce que l'accélération des ions est réalisée par une onde de mode E_{011} permettant de régler de manière continue l'énergie du faisceau d'ions accélérés par formation d'une portion à distribution uniforme du champ accélérateur et par réglage de la longueur de cette portion.
2. Accélérateur linéaire pour la réalisation du procédé selon la revendication 1, comprenant une cavité résonnante avec des tubes de glissement et des dispositifs de réglage tridimensionnels situés sur la paroi latérale de la cavité résonnante, caractérisé en ce qu'il est doté d'un dispositif de réglage auxiliaire assurant le réglage de la longueur de la portion à distribution uniforme du champ accélérateur et réalisé sous la forme d'une tige conductrice (4) montée sur la paroi frontale de la cavité résonnante (1) auprès de sa paroi latérale, parallèlement à l'axe de la cavité résonnante (1), avec possibilité de déplacement le long de l'axe de cette cavité.

**FIG. 3**

**FIG 4****FIG. 2**